

(2)

## MOTION CORRECTION METHOD IN MR IMAGING

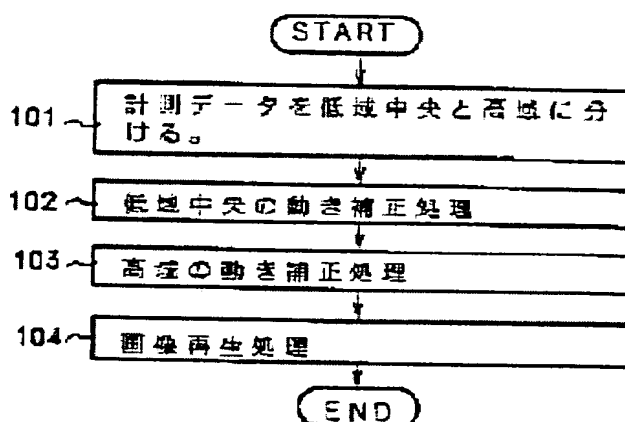
Patent number: JP6047021  
 Publication date: 1994-02-22  
 Inventor: KIDO KUNIHICO; SANO KOICHI; TAGUCHI JUNICHI;  
 KOIZUMI HIDEAKI  
 Applicant: HITACHI LTD  
 Classification:  
 - international: A61B5/055; G01R33/48  
 - european:  
 Application number: JP19920206434 19920803  
 Priority number(s): JP19920206434 19920803

Report a data error here

## Abstract of JP6047021

**PURPOSE:** To provide a motion correcting method by detecting a motion in parallel movability in a slice surface generated suddenly by only one of the upper half or the lower half of measuring data.

**CONSTITUTION:** Measuring data are divided into a center low zone and a high zone and their motions are detected and corrected by different methods, respectively. After the motion correction processing of the center low zone is executed, as for the motion correction to the high zone, when the measuring data are divided into an upper half and a lower half, the data of a half of the side in which the motion is generated are estimated by utilizing a complex conjugate point symmetric property from the data of a half of the side in which the motion does not occur, a phase difference between the estimated data and the measuring data of a half of the side in which the motion is generated is taken, and by estimating a phase deviation caused by the motion from the phase difference data by the minimum square method to detect the motion, the motion correction processing is executed. In such a manner, the motion correction can be executed without deteriorating S/N of an image.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-47021

(43)公開日 平成 6 年(1994) 2 月22日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 5/055				
G 0 1 R 33/48				
		8932-4C	A 6 1 B 5/ 05	3 7 4
		8932-4C		3 7 0
		9118-2J	G 0 1 N 24/ 08	Y
審査請求 未請求 請求項の数 9 (全 17 頁)				

(21)出願番号 特願平4-206434

(22)出願日 平成 4 年(1992) 8 月 3 日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

(72)発明者 木戸 邦彦

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株  
式会社日立製作所システム開発研究所内

(72)発明者 佐野 耕一

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株  
式会社日立製作所システム開発研究所内

(72)発明者 田口 順一

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株  
式会社日立製作所システム開発研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 MRイメージングにおける動き補正方法

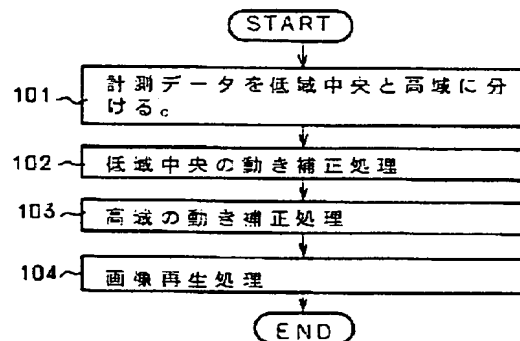
(57)【要約】

【目的】計測データの上半分もしくは下半分のどちらか一方のみで、突発的に発生するスライス面内における平行移動性の動きを検出し、動き補正する方法を提供する。

【構成】計測データを中央低域と高域に分けて、それぞれ異なる方法で動きを検出し動き補正を行った。中央低域の動き補正処理を行った後、高域に対する動き補正を、計測データを上半分と下半分に分けたとき、動きの起こらなかった側の半分のデータから、動きの発生した側の半分のデータを複素共役点対称性を利用して推定し、この推定したデータと動きの発生した側の半分の計測データとの位相差をとり、この位相差データから動きによる位相誤差を、最小二乗法で推定することによって動きを検出することにより動き補正処理を行った。これにより画像のS/Nを劣化させることなく、動き補正することが出来る。

【効果】上記の構成をとることで、画像のS/Nを劣化させることなく、平行移動性のモーションアーチファクトを抑制することが出来る。

図 1



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 静磁場、傾斜磁場、高周波磁場の発生装置と検査対象物からの核磁気共鳴信号を取り出す検出装置と、画像再生構成を含む各種演算を行う処理装置を有する磁気共鳴イメージング装置において、異なる2種類以上の動き検出手段を用意しておき、計測データを2個以上のブロックに分け、各ブロックは、何れか1種類の動き検出手段によって動きを検出し、計測データの動き補正を行うことを特徴とする動き補正方法。

【請求項2】 請求項1の動き補正方法において、計測データを中央部の低域データとそれ以外の高域データに分け、高域データは計測データの位相情報にもとづいて動き検出することを特徴とする動き補正方法。

【請求項3】 請求項2における低域中央部の動き補正処理は、各ラインの計測データを一次元フーリエ変換して得られるデータの位置情報にもとづき、ライン方向の動きを補正する処理を含むことを特徴とする動き補正方法。

【請求項4】 請求項2における低域中央部の動き補正処理は、各ラインの位相成分の平均をとり、ライン毎の位相の平均値のずれ量により位相オフセットを検出して、ラインと垂直の方向（位相エンコード方向）の動きを補正する処理を含むことを特徴とする動き補正方法。

【請求項5】 静磁場、傾斜磁場、高周波磁場の発生装置と検査対象物からの磁気共鳴信号を取り出す検出装置と、画像再生構成を含む各種演算を行う処理装置を有する磁気共鳴イメージング装置において、計測データを上半分と下半分に分け、上半分の計測データおよび下半分の計測データの動きによる位相誤差を推定し、その位相誤差にもとづき位相補正処理を行うことを特徴とする動き補正方法。

【請求項6】 請求項5の動き補正方法において位相誤差の推定は、片側半分のデータを、もう一方の側の半分の計測データから複素共役点対称性を利用して推定し、この推定したデータと推定した側の計測データとの位相差を計算し、動きによる位相誤差を位相差データに最小二乗法を適用することによって推定することを特徴とする動き補正方法。

【請求項7】 請求項6において、位相差データに最小二乗法を適用する処理は、注目しているラインに、そのラインに隣接する数ラインを加えたブロックを考え、このブロック内でラインに垂直な方向（位相エンコード方向）に位相データの平均をとることによって位相差データに平滑化を行う処理を含むことを特徴とする動き補正方法。

【請求項8】 請求項6における、位相差データに最小二乗法を適用する処理は、各ラインの中央低周波区間において、位相差の値が $-\pi$ と $\pi$ をとる点を含まない区間を\*

$$S'(k_x, k_y) = \exp[\phi(k_x, k_y)] S(k_x, k_y) \quad \cdots(1)$$

【0005】

30

2

\*求めて、この区間で最小二乗法を適用する処理を含むことを特徴とする動き補正方法。

【請求項9】 計測空間を複数のブロックに分け、各ブロック毎にマルチエコーシーケンスを用いた異なるエコータイム（TE）で計測したスピンエコー信号を割り当てて、画像再生に必要な計測データを得る高速スピンエコー撮影法において、エコー数をブロック数よりも1つ多くして、位相エンコードがゼロのラインを含む計測空間中央のブロックを2つのマルチエコーで各々のエコーが該ブロックを互いに反対方向に計測することを特徴とする高速スピンエコー撮影法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、核磁気共鳴現象を利用した体内断層撮影に係り、特に撮影中の検査対象物の動き、特にスライス面内の平行移動性の動きによって画像に生ずるアーチファクトを抑制する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 MR Iは撮影時間が長いために、検査対象物の動きによるアーチファクトが発生しやすい。このため動きを補正する方法が多く提案されてきている。平行移動性の動きに関しては代表的なものに、下記のものがある。

【0003】 (1) Gerchberg-Saxton アルゴリズムを利用するもの

エス エム アール エム、ブック オブ アブストラクト(SMRM, Book of Abstracts) (1990) p 561

エス エム アール エム、ブック オブ アブストラクト(SMRM, Book of Abstracts) (1991) p 743

(2) プロジェクションデータを利用するもの

① ナビゲーションエコーを使うもの

ラジオロジー (Radiology) 173, p 225-263 (1989)

② ナビゲーションエコーを使わないもの

ラジオロジー (Radiology) 179, p 139 (1991)

ここで、平行移動の計測信号への影響をまとめておく。まず、以下で提案された方法はすべて、動きが各位相エンコード信号の間に発生したものを対象にしている。これは各位相エンコード信号の計測時間が数ミリsecなのに対して、計測待ちの時間が数百ミリsecと長いので、動きはこの計測待ちの時間に発生するものと仮定してよいという、いわゆるView-to-View効果にもとづいている。この時オリジナルの信号 $S(k_x, k_y)$ と、スライス面内の平行移動による影響を含んだ信号 $S'(k_x, k_y)$ には、次のような関係がある。

【0004】

【数1】

【数2】

3

$$\phi(k_x, k_y) = -2\pi(p(k_y)k_x/N_x + q(k_y)k_y/N_y) \cdots (2)$$

ここで、 $k_x = -N_x/2 \sim N_x/2 - 1$ ,  $k_y = -N_y/2 \sim N_y/2 - 1$ ,  $N_x$ ,  $N_y$  はサンプル点数、 $p(k_y)$ ,  $q(k_y)$  は、ライン  $k_y - 1$  と  $k_y$  の間で起こった読みだし方向、位相エンコード方向の位置ずれ量であり、 $i$  は虚数単位である。

【0006】すなわち平行移動は計測信号に線形な位相誤差として現れる。

【0007】(1)は検査対象物が有界な領域にあることを利用するもので、まず画像において検査対象物の境界線を決定して内部と外部に分ける。そして次のような手続を行う。

【0008】① 画像において、境界線から外部にはみ出した部分は偽像として切り捨てる。

【0009】② ①で得られた画像データを、逆フーリエ変換して信号データに直す。

【0010】③ ②で得られた信号データとオリジナルの計測データとの位相差をとり、線形な位相誤差を位相データに最小二乗法を適用することにより推定する。

【0011】④ ③で推定された位相誤差により、オリジナルの計測データに位相補正処理を行う。

【0012】⑤ ④で得られた信号データをフーリエ変換して画像にする。

【0013】⑥ 信号データの位相誤差が十分補正されるまで以上の操作を繰り返す。

【0014】この方法は、1ピクセル以下の小さな動きに対して有効である。

【0015】(2)は、読みだし方向の各ラインのデータを一次元フーリエ変換することによって得られるハイブリッドスペースデータが、各ライン計測時の読みだし方向にそっての検査対象物の位置情報を持っていることを利用するものであり、次の2通りの方法がある。

【0016】① ナビゲーションエコーを使うもの  
各位相エンコード信号の計測の間に、ナビゲーションエコーと呼ばれる位相エンコードがゼロの信号(ゼロエンコード信号)を計測し、ナビゲーションエコーから得られるハイブリッドスペースデータの絶対値から、エッジを検出することによって読みだし方向の位置ずれ量を検出するものである。

【0017】② ナビゲーションエコーを使わないもの  
S/Nが高い計測空間中央部の-32〜+32ラインにおいては、ナビゲーションエコーを使わなくても、読みだし方向の各ラインに対するハイブリッドスペースデータの絶対値から、エッジを検出することにより、各計測間の読みだし方向の位置ずれ量を精度良く検出することができる。しかし、高域部分のラインに行くに従って計測信号のS/Nが低くなるので、エッジの検出誤差が大きくなり、高域部分では正確な位置ずれ量を検出することが困難になってくる。そこで、画像を再生するのに必要なデータを計測する際に、高域部分のハイブリッドス

4

ペースデータにも明確に現れるような、小さなマーカ-を検査対象物の外部に据えて計測することによって、このマーカ-から読みだし方向の位置ずれ量を検出するのである。

【0018】(2)は、1ピクセル以上の大きな動きに対して威力を発揮する。

【0019】上記(1), (2)の方法の問題点として次のようなものがある。

【0020】(1) Gerchberg-Saxton アルゴリズムを利用するもの

① 1ピクセル以上の大きな平行移動に関しては、かなりの回数アルゴリズムを繰り返さないと効果が現れない。従ってアルゴリズム中にフーリエ変換が二回含まれているため、効果が現れるまでに多くの計算時間が必要となる。

【0021】② 画像上の検査対象物の境界線は手作業で決定するか、もしくはリージョン・グロウイング等の技術により半自動的に決定しなければならず手間がかかる。

【0022】

(2) プロジェクションデータを利用するもの

(i) ナビゲーションエコーを使うもの

① 通常の画像を再生するためのエコーに加えて、ナビゲーションエコーを計測するので計測時間が増える。

【0023】② 読みだし方向の平行移動だけしか補正できない。

【0024】

(ii) ナビゲーションエコーを使わないもの

① マーカ-をつけても高域部分で数十ピクセルの検出誤差が発生する場合が多い。

【0025】② 読みだし方向の平行移動だけしか補正できない。

【0026】上記のように、どの平行移動補正法も長所短所を合わせ持っているのが普通である。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、突発的に起こるスライス面内の平行移動を、特別なシーケンスを使わずに、計測データ自身から動きを検出して動き補正処理を行うものであり、1ピクセル以上の動きに対しても効果がある。患者の突発的な動きは、患者が落ち着くまでの計測前半や、疲れてきてじっとしていられなくなる計測後半など、計測中の限られた時間内に起こるのが普通であり、計測空間の上下どちらか半分のみで発生するものと考ええる。例えば計測空間の上半分を計測中に平行移動が発生したとき、体動発生ラインで一番低域側のラインを  $j$  とすると、ライン  $j$  よりも下側のデータ ( $k_y < j$ ) は動きの影響を含んでいないと考えられ、しかも全計測データの内の半分を含んでいるから、このデータから複素共役点対称性を利用して、残りの動きの影響を

5

含んだデータ ( $k_y \geq j$ ) を推定することができ、動き補正画像が得られる。しかし、オリジナルの計測データから動きの影響を含んだ部分を使わないので画像の  $S/N$  が劣化する。そこで、 $S/N$  の劣化を抑えて動き補正画像を得るためには、動きの影響を含んだデータ ( $k_y \geq j$ ) に、動き補正する必要がある。

【0028】数(1)、(2)により、 $k_y \geq j$  において読みだし方向および位相エンコード方向の位置ずれ量  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  が推定できれば、位相補正処理を行うことにより、平行移動を補正することができる。従って、本発明の目的は、このような  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  ( $k_y \geq j$ ) を検出することである。

【0029】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために次のような手続きを行う。

【0030】〔1〕 図3のように、低域中央302と高域301、303に分ける。そして、低域中央302の動き補正のステップと高域301の動き補正のステップに分ける。

【0031】〔1〕 低域中央の動き補正

低域中央302で発生した平行移動に関しては、公知の技術を使って行う。例えば、次のような方法で低域中央302の動き補正を行うことができる。まず計測の際、低域中央302を計測するときだけ、位相エンコード方向の動きを検出するために、 $k_y$  軸304方向のゼロエンコード信号(ナビゲーションエコー) {NAV  $k_y(y)$ } を計測する。

【0032】① 低域302の読みだし方向の各ライン  $k_y$  の計測データを一次元フーリエ変換して、ハイブリッドスペースデータ { $h_{k_y}(x)$ } を得る。

② 各ライン  $k_y$  の  $|h_{k_y}(x)|$  からエッジ  $E_{k_y}$  を検出する。

③ ゼロエンコードデータのエッジを基準として、各ライン  $k_y$  ごとに読みだし方向の位置ずれ量  $\Delta X(k_y) = E_{k_y} - E_0$  を求める。

④  $p(k_y) = \Delta X(k_y)$ 、 $q(k_y) = 0$  として、数(1)、(2)にもとづいて位相補正処理を行う。

⑤ ナビゲーションエコー信号 {NAV  $k_y(y)$ } についても同様に、上記①～③の手続きを行い、位相エンコード方向の位置ずれ量  $\Delta Y(k_y)$  を求める。

⑥  $p(k_y) = 0$ 、 $q(k_y) = \Delta Y(k_y)$  として、数(1)、(2)にもとづいて計測データに位相補正処理を行う。

【0033】〔2〕 高域の動き補正

① 〔1〕で補正をかけた低域中央302とオリジナルの計測データの高域303から、ハーフスキヤンイメージング法により高域301を推定する。

② ①で推定した高域部301とオリジナルの計測データの高域部301のデータの位相差をとる。

③ ②で求めた位相差データのノイズを除去するため

6

に、平滑化処理を行う。

④ ③で得た高域301の平滑化された位相差データに対して、読みだし方向の各ラインにおいて数(2)の  $p(k_y)$ 、 $r(k_y) = q(k_y) k_y$  を最小二乗推定する。

⑤ ④で推定した  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  により、数(1)、(2)にもとづいて〔1〕で補正をかけたデータに位相補正処理を行う。

【0034】〔II〕〔1〕の〔2〕④において、位相差データに最小二乗法を適用するが、位相は  $2\pi$  ごとにサイクリックに同一の値をとるので、読みだし方向の1ピクセル以上の動きに対して、図5(a)のように、各  $k_y$  における数(2)は折り返しが起こり直線にはならない。従って最小二乗法を適用するには折り返しを解消して直線になおすアンラップ処理を行う必要がある。しかし実際の計測データは、ノイズの影響でアンラップ処理が困難である。そこで、読みだし方向各ラインにおいて、折り返し点を含まない区間を各ラインの低周波中央部  $[-c, c]$  から次のように決定し、この区間で最小二乗法を適用する。

【0035】① 読みだし方向の各ラインの位相差データに移動分散を施す。ここで移動分散とは、ラインの各点  $k_x$  においてその点と前後  $b$  点による位相差データによって分散を求めることである。

② 各ラインの区間  $[-c, c]$  において、しきい値  $b$  以上の分散値をとる点  $a_1 < a_2 < \dots < a_k$  を求める。

③  $-c, a_1, a_2, \dots, a_k, c$  の隣接する2点どうしの長さを求めて、最も大きい区間を最小二乗法の適用区間とする。

【0036】

【作用】

〔1〕 低域中央の動き補正

低域中央の動き補正は公知の技術であり、前記のとおり  $S/N$  が高い計測空間中央部の  $-3/2 \sim +3/2$  ラインにおいては、ナビゲーションエコーを使わなくても、読みだし方向の各ラインに対するハイブリッドスペースデータを調べることで、各計測間の読みだし方向の位置ずれ量を精度良く検出することができる。また位相エンコード方向の動き補正に関しては、ナビゲーションエコーを使うことによって行うが、低域中央302を計測するときだけナビゲーションエコーを計測するので、計測時間の増加は少なくてすむ。

【0037】〔2〕 高域の動き補正

平行移動は計測空間の上半分のみで発生しているのだから、計測空間の下半分の計測データは動きの影響を含んでいないと考えられる。画像が実数値を取る理想的な場合には、計測データは原点に対して点対称な位置どうし複素共役の関係にあるので、動きの影響のない下半分の計測データを使うことにより、動きの影響を含んでいない上半分のデータを推定することができる。しかし実際は、血流や装置歪み等で、画像に位相歪みが生じ複素成

7

分が現れるので、計測データの対称性は成り立たず、精度の良い上半分のデータを推定することができない。公知のハーフスキャンイメージング法は、計測データの低域中央部から得られる位相マップにより画像の位相歪みを近似して、これを補正することにより計測データの領域301と302の対称性を回復させるものである。

【0038】従って、〔1〕で動き補正をした低域中央102のデータと動きの影響のない高域303のデータにより、ハーフスキャンイメージング法を使うことによって、動きの影響を含んでいない精度の良い高域301のデータが推定できる。ここで、オリジナルの計測データの領域301とハーフスキャンイメージング法により推定した高域301のデータの位相差をとり、読みだし方向各ライン $k_y$ において位相差データに最小二乗法を適用することによって、数(2)の位相誤差を推定することができ、位相補正処理を行うことによって、平行移動の補正をすることができる。前記のとおり、得られた位相補正画像は全計測データを使うので、ハーフスキャンイメージング法によって得られる動き補正画像よりも $S/N$ が優れている。

【0039】前記の通り、最小二乗法を適用する際に、位相の折り返しの影響を避けるために最小二乗法の適用区間を制限することを考える。もし検査対象物の位相エンコード方向の動きがなく、位相にオフセットが乗っていない場合には、最小二乗法の適用区間を読みだし方向の各ラインに対して一定に、しかもライン中央低域にとればよい。しかし、位相エンコード方向の動きがある場合には、数(2)からわかるとおり、ラインが高域に行くに従って、位相オフセットが大きくなりまたは小さくなるので、図5(b)のように折り返し点501が中央によってくる。このために各ライン毎に折り返し点501を検出して、折り返し点を含まない区間を求め、この区間で最小二乗法の適用する必要がある。

【0040】折り返し点を検出するためにまず、各ライン毎の位相差データに前記定義した移動分散をとる。折り返し点付近の位相値は、ノイズの影響による振動に加えて折り返しによる $-\pi$ から $\pi$ への振幅が加わるので、折り返し点付近の分散値(2 $\pi$ に近い値)はその他の点の分散値よりも大きい値をとる。従って、適当なしきい値を定め、このしきい値以上の分散値をとる点が折り返し点の候補である。各ラインの高域部分は、ノイズの影響が強いので、最小二乗法の適用区間から除外する。従ってライン中央の区間 $[-c, c]$ を設定して、この区間内から最小二乗法の適用区間を決定する。この区間において、分散がしきい値以上になる点を $a_1, a_2, \dots, a_l$ とすると、折り返し点付近にこのような点が局在するので、この付近の隣接する2点どうしの距離は短い。よって、 $-c < a_1 < a_2 < \dots < a_l < c$ の隣接する2点どうしの距離を求めて一番大きい区間を選べば、この区間に折り返し点は含まれていない。よって、この区間を

8

最小二乗法の適用区間とすることにより、最小二乗法適用時の折り返し点の影響を避けることができる。

【0041】

【実施例】

＜実施例1＞図2は、本発明を適用するMRシステムの一例を示す。静磁場発生系201は、均一な静磁場を発生し、送信系202は、スピンを励起するための高周波パルス磁場を発生する。傾斜磁場発生系203は、 $x, y, z$ 方向の各傾斜磁場を発生し、各方向の磁場を変化させることができる。受信系204は、被検体200から放射される電磁波を受信して、検波し、デジタル信号に変換した後、処理装置205に供給する。処理装置205は、受信系204からのデータに各種の演算を施して、画像データを生成し、CRT表示装置206にその画像を表示する。パルスシーケンスファイル207は、系201~204の動作シーケンスを規制する制御情報を保持しており、シーケンス制御部208は、パルスシーケンスファイル207から制御情報を読みだし、それに従って、計201~204の動作を制御する。

【0042】図13は、図2のシステムにおけるパルスシーケンスを示し、これは、パルスシーケンスファイル207からの制御情報に従って、シーケンス制御部208の制御のもとに発生される。RF1301は、送信系202により発生させられる高周波パルス磁場のタイミングを示し、 $G_z 1302, G_y 1303, G_x 1304$ は、それぞれ、 $z, y, x$ 方向の傾斜磁場が傾斜磁場発生系203により発生されるタイミングを示し、Signal1305は、受信系204が計測データ信号1307を計測するタイミングを示す。RF1301の周波数と $G_z 1302$ のレベルで $z$ 方向のスライス面を選択し、 $G_y 1303$ のレベルで $y$ 方向の位置分離を行い、 $G_x 1304$ のレベルで $x$ 方向の位置分離を行う。 $y$ 方向の位置分離は一度にはできないので、 $G_y 1303$ のレベルを変えて、それぞれのレベルについて計測データ信号1307を計測する。通常、 $G_y 1303$ は256レベルにわたって変化し、したがって、一回のスキャンの間に256回の計測が行われる。このようにスキャンの間にレベルが変化する傾斜磁場(この例では $y$ 方向傾斜磁場)が、位相エンコードパルス1306である。図13のパルスシーケンスにおいて、位相エンコードレベルを逐次増加させるか減少させることによって計測されたデータを $S(k_x, k_y)$ とし、 $k_x = -N_x/2 \sim N_x/2 - 1$ 、 $k_y = -N_y/2 \sim N_y/2 - 1$ とする。

【0043】図1は、計測空間の上半分か下半分のどちらか一方だけで、検査対象物がスライス面内で平行移動を起こした時の動き補正処理の流れを示すものであり、ステップ101で、計測空間を低域中央302と高域301と302に分ける。ここで、低域中央302を $-N \sim +N$ ラインとする。通常、 $N$ は8, 6, 32のいずれかにとるのが普通である。次に、ステップ102で低域

9

中央302の動き補正した後、ステップ103で高域の動き補正をするが、計測データ自身から、発生した動きが計測データの上半分で起こったものなのか、下半分で起こったものなのか決定できないので、発生した動きが計測空間の上半分で起こったものとしての動き補正処理と、下半分で起こったものとしての動き補正処理を並列して行う。従って、ステップ104では、動き補正処理をした2つのデータをフーリエ変換することによって、2枚の再生画像が得られる。以下最初に、低域の動き補正ステップ102を、動きの検出方法の異なる3つの例について説明する。

【0044】〔低域中央の動き補正処理例1〕低域中央の動き補正処理例1を図6により説明する。この例では、最初に低域中央の計測データを読みだし方向に一次元フーリエ変換して得られるハイブリッドスペースデータからエッジを検出し、読みだし方向の位置ずれ量を検出して読みだし方向の動き補正を行う。この処理によって、読みだし方向の動きによる計測データの位相成分の傾きがフラットになり、各ライン毎の位相エンコード方向の動きによる位相オフセットの変化を、読みだし方向の動き補正処理をしたデータから、各ライン毎の位相の平均を調べることにより検出できる。すなわち、ゼロエンコードラインの位相の平均を基準として、各ライン毎の位相の平均の変化量を検出することにより、位相エンコード方向の位置ずれ量を検出できる。この方法が有効であるためには、装置歪みによる計測データの位相成分に一樣に乗っている線形な位相歪みを、予め除去しておく必要がある。

【0045】〔ステップ601〕装置歪みによる線形な位相歪みを除去したデータに対して、低域中央302に属する各ライン $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ )を一次元フーリエ変換して、ハイブリッドスペースデータ  $\{h_{k_y}(x)\}$  を得る。

【0046】〔ステップ602〕  $\{|h_{k_y}(x)|\}$  からエッジを検出して、各 $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ )における位置ずれ量 $\Delta X(k_y)$ を求める。

【0047】〔ステップ603〕

$p(k_y) = \Delta X(k_y)$ ,  $q(k_y) = 0$   $k_y \in [-N, N]$  として、数(1), (2)にもとづいて区間  $[-N, N]$  で計測データ  $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を施したデータ  $S'(k_x, k_y)$  を求める。

【0048】〔ステップ604〕低域中央302に属する各ライン $k_y$  について、ステップ603で求めたデータ

$$p(k_y) = \Delta X(k_y), \quad q(k_y) = \Delta Y(k_y) \quad k_y \in [-N, N]$$

として、数(1), (2)にもとづき区間  $[-N, N]$  で計測データ  $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行う。

【0057】〔低域中央の動き補正処理例3〕この例では、マルチスライスの場合を考える。図15はマルチスライススピンエコーシーケンスの一例である。この例では、第2スライス撮影時に位相エンコード方向と読みだ

10

\*タ  $S'(k_x, k_y)$  の位相成分  $\arg(S'(k_x, k_y))$  の平均  $w(k_y)$  を計算する。

【0049】〔ステップ605〕低域中央302に属する各ライン $k_y$  に対して、位相エンコード方向の位置ずれ量を

$$\Delta Y(k_y) = (w(k_y) - w(0)) / k_y$$

として計算する。

【0050】〔ステップ605〕

$$p(k_y) = 0, \quad q(k_y) = \Delta Y(k_y) \quad k_y \in [-N, N]$$

として、数式(1), (2)にもとづいて区間  $[-N, N]$  で位相補正処理をステップ603で求めたデータ  $S'$

$(k_x, k_y)$  に施す。

【0051】〔低域中央の動き補正処理例2〕低域中央の動き補正処理例2を図7によって説明する。この例では、低域中央302における位相エンコード方向の動きを検出するためにナビゲーションエコーを利用する。位相エンコードレベルが  $-N \sim N$  とするときのみ図14で示されるパルスシーケンスを使い、画像再生に必要な低域中央データに加えて、 $k_y$  軸304方向のゼロエンコード信号(ナビゲーションエコー)を計測する。ここで、ナビゲーションエコー信号を  $\{NAV_k(k_y)\}$  ( $k = -N \sim N$ ) とする。読みだし方向の動きに対しては、低域中央の読みだし方向各ラインの計測データを一次元フーリエ変換して得られるハイブリッドスペースデータからエッジを検出することにより、位相エンコード方向の動きに対しては、ナビゲーションエコーを一次元フーリエ変換して得られるハイブリッドスペースデータからエッジを検出することによって、それぞれ位置ずれ量を検出する。

【0052】〔ステップ701〕低域中央302に属する各ライン $k_y$  について計測データを一次元フーリエ変換して、 $\{h_{k_y}(x)\}$  を得る。

【0053】〔ステップ702〕  $\{|h_{k_y}(x)|\}$  からエッジを検出して、各 $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ )における位置ずれ量 $\Delta X(k_y)$ を求める。

【0054】〔ステップ703〕各 $k$  ( $k = -N \sim N$ ) に対して、 $NAV_k(k_y)$  を一次元フーリエ変換してハイブリッドスペースデータ  $\{HNAV_k(y)\}$  を得る。

【0055】〔ステップ704〕  $\{|HNAV_k(y)|\}$  からエッジを検出して、各 $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ ) における位置ずれ量 $\Delta Y(k_y)$ を求める。

【0056】〔ステップ705〕

し方向を、他のスライス撮影時の位相エンコード方向と読みだし方向と入れ替えてある。これによって、各スライスの低域中心のエコー計測間に発生した平行移動に關して、図3の計測空間における $k_x$  軸305方向の動きを第1スライスエコーから得られるハイブリッドスペースデータから、また $k_y$  軸304方向の動きに対して

11

は、第2スライスのエコーから得られるハイブリッドスペースデータから位置ずれ量を検出できる。各スライスから得られるスピンエコー信号を

$S1(k_x, k_y)$ ,  $S2(k_x, k_y)$ , ...,  $S_n(k_x, k_y)$  とする。以下、低域の動き補正処理例3を図8により説明する。

【0058】【ステップ801】第1スライスの各  $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$  エコーによる計測データ  $S1(k_x, k_y)$  を一次元フーリエ変換して、 $\{h1_{ky}(x)\}$  を得る。

【0059】【ステップ802】 $\{|h1_{ky}(x)|\}$  か \*10

$$p(k_y) = \Delta X(k_y), \quad q(k_y) = \Delta Y(k_y) \quad k_y \in [N, N]$$

として、数(1),(2)にもとづいて区間  $[-N, N]$  に位相補正処理を  $S1(k_x, k_y)$ ,  $S2(k_x, k_y)$ , ...,  $S_n(k_x, k_y)$  に施す。

【0063】以下、低域の動き補正処理を行ったデータ  $S1(k_x, k_y)$ ,  $S2(k_x, k_y)$ , ...,  $S_n(k_x, k_y)$  それぞれに、高域の動き補正処理を行う。

【0064】次に、高域の動き補正ステップ103に関して説明する。高域の動きの検出は、高域301と303の計測データが、互いに複素共役対称の関係にあることを利用する。まず、高域301のデータを高域303の計測データから推定し、同様に高域303のデータを高域301の計測データから推定する。そして、この推定した高域のデータと高域の計測データとの位相差をとり、平行移動による位相誤差を位相差データに最小二乗法を適用することによって求める。ここで、位相差データに最小二乗法を適用する時に、推定精度を上げるために、位相差データにノイズの除去処理を行うが、以下※

$$PU(k_x, k_y) = \arctan(S(k_x, k_y) * \text{conj}(IU(k_x, k_y))) \\ (k_y \geq N+1) \quad 30$$

同様にして、 $S(k_x, k_y)$  の高域303と推定データ  $I$   $D(k_x, k_y)$  との位相差をとる。

$$PD(k_x, k_y) = \arctan(S(k_x, k_y) * \text{conj}((ID(k_x, k_y)))) \\ (k_y \leq -N-1)$$

ここで、 $\text{conj}()$  は複素共役を表す。

【0070】【ステップ903】各ライン  $k_y$  ( $k_y \geq N+1$ ,  $k_y \leq -N-1$ ) における位相差データ  $P_{ky}(k_x)$  ☆

$$MPD(k_x, k_y) = (P_{ky}(k_x - b) + P_{ky}(k_x - b + 1) + \dots + P_{ky}(k_x) + \dots + P_{ky}(k_x + b - 1) + P_{ky}(k_x + b)) / (2b + 1) \\ (k_x = -N_x + b \sim N_x - b)$$

として、位相差データに平滑化を行う。

【0071】【ステップ904】以下で説明する最小二乗法適用区間決定ステップに行き、高域301の各  $k_y$  ( $k_y \geq N+1$ ) において、 $MPU(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s_u(k_y), e_u(k_y)]$  を求める。同様にして、高域303の各  $k_y$  ( $k_y \leq -N-1$ ) において、 $MPD(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s_d(k_y), e_d(k_y)]$  を求める。

【0072】【ステップ905】高域301の各  $k_y$  ( $k_y \geq N+1$ ) において、区間  $[s_u(k_y), e_u(k_y)]$  30

12

\*らエッジを検出して、各  $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ ) における  $k_x$  軸305方向の位置ずれ量  $\Delta X(k_y)$  を求める。

【0060】【ステップ803】第2スライスの各  $k_x$  ( $k_x = -N \sim N$  エコーによる計測データ  $S2(k_x, k_y)$  を一次元フーリエ変換して、 $\{h2_{kx}(y)\}$  を得る。

【0061】【ステップ804】 $\{|h2_{kx}(y)|\}$  からエッジを検出して、各  $k_y$  ( $k_y = -N \sim N$ ) における  $k_y$  軸304方向の位置ずれ量  $\Delta Y(k_y)$  を求める。

【0062】【ステップ805】

※2つの高域の動き補正処理例では、それぞれ異なる方法を適用する。

【0065】【高域の動き補正処理例1】高域の動き補正処理例1では、位相差データのノイズの除去処理を、各ラインの位相差データに移動平均処理によって行う。以下、高域の動き補正処理例1を図9により説明する。

【0066】【ステップ901】低域の動き補正ステップ102で動き補正した低域中央302のデータと高域303のデータから、公知のハーフキャンイメージング法により、高域301の推定データ  $IU(k_x, k_y)$  ( $k_y \geq N+1$ ) を求める。同様にして低域中央302のデータと高域301のデータから高域303の推定データ  $ID(k_x, k_y)$  ( $k_y \leq -N-1$ ) を求める。

【0067】【ステップ902】 $S(k_x, k_y)$  の高域301と推定データ  $IU(k_x, k_y)$  との位相差をとる。

【0068】

★【0069】

☆ =  $PU(k_x, k_y)$  または  $PD(k_x, k_y)$  に対して、 $M$

$PU(k_x, k_y)$  または

で  $MPU(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p(k_y)$ ,  $r(k_y) = q(k_y) k_y$  ( $k_y \geq N+1$ ) を推定する。

【0073】同様にして、高域303の各  $k_y$  ( $k_y \leq -N-1$ ) において、区間  $[s_d(k_y), e_d(k_y)]$  で  $MPD(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p(k_y)$ ,  $r(k_y) = q(k_y) k_y$  ( $k_y \leq -N-1$ ) を推定する。

【0074】【ステップ906】ステップ905で推定した  $p(k_y)$ ,  $q(k_y)$  ( $k_y \geq N+1$ ) により、数(1),



13

(2) にもとづき  $k_y \geq N+1$  において、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SU(k_x, k_y)$  を得る。

【0075】同様に、ステップ905で推定した  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  ( $k_y \leq -N-1$ ) により、数(1)、(2) にもとづき  $k_y \leq -N-1$  において、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SD(k_x, k_y)$  を得る。

【0076】〔最小二乗法適用区間決定ステップ〕最小二乗法適用区間決定ステップを図10を使って説明する。

$$\begin{aligned} \mu(k_x) &= (P_{k_y}(k_x - b) + P_{k_y}(k_x - b + 1) + \dots + P_{k_y}(k_x) \\ &\quad + \dots + P_{k_y}(k_x + b - 1) + P_{k_y}(k_x + b)) / (2b + 1) \\ \sigma(k_x) &= ((P_{k_y}(k_x - b) - \mu(k_x))^2 + (P_{k_y}(k_x - b + 1) - \mu(k_x))^2 \\ &\quad + \dots + (P_{k_y}(k_x) - \mu(k_x))^2 + \dots + (P_{k_y}(k_x + b - 1) - \mu(k_x))^2 \\ &\quad + (P_{k_y}(k_x + b) - \mu(k_x))^2) / (2b + 1) \end{aligned}$$

〔ステップ1003〕移動分散値  $\sigma(k_x)$  が  $[-c, c]$  において、しきい値  $\epsilon$  をこえる  $k_x$  を求め、 $-c < a_1 < a_2 < \dots < a_l < c$  とする。

【0080】〔ステップ1004〕 $length(0) = a_1 + c$ 、 $length(i) = a_{i+1} - a_i$  ( $i = 1 \sim l-1$ )、 $length(1) = c - a_l$  とする。このとき  $length(i)$  ( $i = 1 \sim l$ ) が最大となる  $i$  を求め  $imax$  とする。

【0081】〔ステップ1005〕出力として、 $[a_{imax}, a_{imax+1}]$  を戻す。ここで  $imax = 0$ 、 $imax + 1 = l + 1$  のとき、それぞれ  $a_{imax} = -c$ 、 $a_{imax+1} = c$  とする。

【0082】〔高域の動き補正処理例2〕高域の動き補正処理例2ではノイズの除去処理において、位相エンコード方向に位相差データの平均をとる方法を採用する。詳しく説明すると、あるラインにおいて、このラインと高域側の  $g-1$  本のラインからなるブロックを考え、このブロック内の位相差データから、位相エンコード方向に位相差データの平均をとることによって、位相差データを平滑化する。そして、この方法で平滑化処理をした各ラインの位相差データに、最小二乗法を適用することによって、数(2)の  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  を推定するが、動き発生ラインと低域側の  $g$  本のラインにおける  $p(k_y)$  または  $q(k_y)$  の値は、単調に増加または減少する。これは、上で述べたブロックが、動き発生ラインを低域側から高域側に横切るに従って、ブロック内の動き発生ライン前部と後部の平均に対する寄与が単調に変化するので、動き発生ラインにおける、各ラインの位相差※

$$EPU(k_x, k_y) = PD(k_x, k_y) + PD(k_x, k_y + 1) + \dots + PD(k_x, k_y + g - 1) / g$$

とすることにより、位相差データに平滑化を行う。

【0087】同様に、高域303のライン  $k_y(-N \leq k_y \leq N)$  において、

$$EPD(k_x, k_y) = PU(k_x, k_y) + PU(k_x, k_y - 1) + \dots + PU(k_x, k_y - g + 1) / g$$

とすることにより、位相差データに平滑化を行う。

【0088】〔ステップ1104〕高域の動き補正処理

14

\*【0077】〔ステップ1001〕入力として、各ライン  $k_y$  における位相差データ  $PU(k_x, k_y)$  または  $PD(k_x, k_y)$  を受け取る。

【0078】〔ステップ1002〕各ライン  $k_y$  における位相差データ  $P_{k_y}(k_x) = PU(k_x, k_y)$  または  $PD(k_x, k_y)$  に対して、移動分散  $\sigma(k_x)$  ( $k_x = -N_x + b \sim N_x - b$ ) をとる。

【0079】

※データの傾きまたはオフセットの突発的な変化は、平滑化した後の各ラインごとの位相差データの傾きまたはオフセットの単調な変化として現れる。そして、この単調な変化は、ブロックの幅  $g$  回連続して起こる。

【0083】従って、動き発生ラインから低域側の  $g-1$  本のラインにおける上記の方法による  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  の推定値は正しくないで、動き発生ラインから低域側の  $g$  本目のラインにおける  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  の値を埋め込む。また、2つの動き発生ラインどうしが  $g$  ライン以上離れていない場合、その2つの発生ラインの間の  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  の値は、以上の方法では推定できないので、高域の動き補正処理例1の方法により、各ラインごと  $p(k_y)$ 、 $q(k_y)$  の値を求めることにする。最後に、低域中央と高域の境界付近の  $-N-g \sim -N-1$  ラインと  $N+1 \sim N+g$  ラインにおいて、動きが発生している場合には、その発生ラインを特定できないので、上記の処理ができない。そこで、低域の動き補正ステップ102において、低域中央302に上下  $g$  ラインずつ加えた領域 ( $-N-g \leq k_y \leq N+g$ ) に動き補正を行うことによって、これを回避する。

【0084】以下、高域の動き補正処理例2を図11により説明する。

【0085】〔ステップ1101~1102〕高域の動き補正処理例1のステップ901~902と同じ。

【0086】〔ステップ1103〕高域301のライン  $k_y((N_y/2-1)-g+1 \leq k_y \leq N+1)$  において、

★  $k_y/2 + g - 1 \leq k_y \leq -N-1$  において、

例1の最小二乗法適用区間決定ステップに行き、高域301のライン  $k_y((N_y/2-1)-g+1 \leq k_y \leq N+1)$  に

15

における  $EP U(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s u(k_y), e u(k_y)]$  を求める。

【0089】同様に、高域303のライン  $k_y(-N_y/2 + g - 1 \leq k_y \leq -N - 1)$  における  $EP D(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s d(k_y), e d(k_y)]$  を求める。

【0090】【ステップ1105】高域301のライン  $k_y((N_y/2 - 1) - g + 1 \leq k_y \leq N + 1)$  において、区間  $[s u(k_y), e u(k_y)]$  で  $EP U(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p(k_y), r(k_y) = q(k_y) k_y((N_y/2 - 1) - g + 1 \leq k_y \leq N + 1)$  を推定する。

【0091】同様に、高域303の各ライン  $k_y(-N_y/2 + g - 1 \leq k_y \leq -N - 1)$  において、区間  $[s d(k_y), e d(k_y)]$  で  $EP D(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p(k_y), r(k_y) = q(k_y) k_y(-N_y/2 + g - 1 \leq k_y \leq -N - 1)$  を推定する。

【0092】【ステップ1106】高域301の部分領域  $((N_y/2 - 1) - g + 1 \leq k_y \leq N + 1)$  において、 $p(k_y), q(k_y)$  が位相エンコード正の方向に  $g$  回連続して増加もしくは減少する開始ラインを  $N + 1 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_n < N_y$  とする、同様に高域303の部分領域  $(-N_y/2 + g - 1 \leq k_y \leq -N - 1)$  において  $p(k_y), q(k_y)$  が位相エンコード負の方向に  $g$  回連続して増加もしくは減少する開始ラインを  $-N_y < j'_1 < j'_2 < \dots < j'_n' \leq -N - 1$  とする。

【0093】【ステップ1107】各区間  $[j_k, j_{k+1} - 1] (k = 1 \sim n)$  (ここで、 $j_{n+1} = N_y$  とする) において、もし  $j_{k+1} - j_k \geq g$  ならば、 $[j_k, j_{k+1} - g]$  において、ステップ1105で推定した  $p(k_y), q(k_y)$  により、 $[j_{k+1} - g + 1, j_{k+1} - 1]$  においては、 $p(j_{k+1} - g), q(j_{k+1} - g)$  により、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SU(k_x, k_y)$  を得る。

【0094】もし  $j_{k+1} - j_k < g$  ならば、 $[j_k, j_{k+1} - 1]$  においてステップ905を実行することによって得られる  $p(k_y), q(k_y)$  により、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SU(k_x, k_y)$  を得る。

【0095】同様に、各区間  $[j'_k, j'_{k+1} - 1] (k = 0 \sim n - 1)$  (ここで、 $j_0 = N_y$  とする) において、 $j_{k+1}' - j'_k \geq g$  ならば、 $[j'_k + g, j'_{k+1} - 1]$  においては、ステップ1105で推定した  $p(k_y), q(k_y)$  により、 $[j'_k + g - 1, j'_{k+1} - 1]$  においては、 $p(j'_{k+1} + g), q(j'_{k+1} + g)$  により、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SD(k_x, k_y)$  を得る。

【0096】もし  $j_{k+1}' - j'_k < g$  ならば、 $[j'_k, j'_{k+1} - 1]$  においてステップ905を実行することにより得られる  $p(k_y), q(k_y)$  により、 $S(k_x, k_y)$  に位相補正処理を行ったデータ  $SD(k_x, k_y)$  を得る。

16

【0097】＜実施例2＞実施例2では、高速スピンエコー撮影法の場合を考える。図16(a)は図2のシステムにおいて、 $512 \times 256$  マトリックスの計測空間を、図4のように5つのブロックに分けたときに、5エコーのマルチエコーシーケンスを利用して、各ブロックにそれぞれ1つのエコーを割当てることによって各ブロックを計測する高速スピンエコーシーケンスの1例である。この場合、従来のスピンエコー撮影法の約1/5の撮影時間になるので、撮影中に検査対象物が動くことは少なくなり、検査対象物の突発的な動きが発生したとしても、計測の前半か後半のどちらか一方のみで起こるという状況は、いっそう現実的になる。

【0098】実施例1において、高域で発生した動きを検出するために、ハーフスキヤニング法を利用したが、そのために計測データの低域中央部を動き補正する必要があったが、この実施例では、ブロック数よりも1つ多いエコー数を持ったマルチエコーシーケンスを利用し、低域中央部に相当するブロック403に2つのマルチエコーを割当て計測することによって、計測の前半、後半どちらで動きが発生しても、動きの影響のない低域中央部のデータを得ることができるようにした高速スピンエコー撮影法について説明する。その後、この高速スピンエコー撮影法によって得られたデータからの動き補正方法について説明する。

【0099】図16(b)は、6エコーのマルチエコーシーケンスを利用した高速スピンエコーシーケンスであり、第1エコーと第2エコーをそれぞれブロック401とブロック402に割当て、第5エコーと第6エコーをそれぞれブロック404とブロック405に割当てる。また、第3エコーと第4エコーをブロック403に割当て、第3エコーでは、ブロック403を上から下に、第4エコーでは、ブロック403を下から上に計測する。このようにブロック403を計測しておけば、動きが計測の前半か後半のどちらか一方のみで起こる場合は、第3エコーにより計測されたブロック403の上半分と、第4エコーにより計測されたブロック403の下半分、または、第3エコーにより計測されたブロック403の下半分と、第4エコーにより計測されたブロック403の上半分の、どちらか一方の組合せから得られるブロック403のデータは、動きの影響を含んでいない。

【0100】以下、この高速スピンエコー撮影法により計測されたデータにおける動き検出方法について説明する。動きの検出は、ブロック402と404の計測データの複素共役点対称性を利用して行う。1つのブロックで動きが検出できれば、他のブロックにおいても、その検出された動きから動き補正処理を行えば良い。第  $i$  エコー ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) によって計測された計測データを  $S_i(k_x, k_y)$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) とすると、上記のような高速スピンエコー撮影法により計測されたので、次のような対応関係がある。

17

【0101】

ブロック401の計測データ  $S_1(k_x, k_y)$   $77 \leq k_y \leq 127$   
 ブロック402の計測データ  $S_2(k_x, k_y)$   $26 \leq k_y \leq 76$   
 ブロック403の計測データ  $S_3(k_x, k_y), S_4(k_x, k_y)$   $-25 \leq k_y \leq 25$   
 ブロック404の計測データ  $S_5(k_x, k_y)$   $-76 \leq k_y \leq -26$   
 ブロック405の計測データ  $S_6(k_x, k_y)$   $-127 \leq k_y \leq -78$

また、ブロック403以外の各ブロックは、割当てられたエコーにより上から下に計測される。以上の準備のもと、図12により動き検出方法について説明する。

【0102】【ステップ1201】ブロック403の上半分のデータ  $S_3(k_x, k_y)$  ( $0 \leq k_y \leq 25$ ) と下半分のデータ  $S_4(k_x, k_y)$  ( $-1 \leq k_y \leq -25$ ) による中央低域の計測データと、ブロック404の上半分のデータ  $S_5(k_x, k_y)$  ( $-26 \leq k_y \leq -51$ ) から、ハーフスキャンイメージング法により、ブロック402の下半分の推定データ  $ID_2(k_x, k_y)$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) を計算する。

$$PU_2(k_x, k_y) = \arctan(S_2(k_x, k_y) * \text{conj}(IU_2(k_x, k_y)))$$

( $51 \leq k_y \leq 76$ )

同様に、ブロック402の下半分のデータ  $S_2(k_x, k_y)$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) と推定データ  $ID_2(k_x, k_y)$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) を計算する。

$$PD_2(k_x, k_y) = \arctan(S_2(k_x, k_y) * \text{conj}((ID_2(k_x, k_y))))$$

( $26 \leq k_y \leq 51$ )

ここで、 $\text{conj}()$  は複素共役を表す。

【0107】【ステップ1203】各ライン  $k_y$  ( $26 \leq k_y \leq 76$ ) における位相差データ  $PU_2(k_x, k_y)$  と  $PD_2(k_x, k_y)$  に対して実施例1の高域の動き補正処理例1のステップ903の方法で平滑化を行い、 $MPU_2(k_x, k_y)$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) と  $MPD_2(k_x, k_y)$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) を計算する。

【0108】【ステップ1204】実施例1の高域の動き補正処理例1の最小二乗法適用区間決定ステップに行き、各  $k_y$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) において、 $MPU_2(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s_u(k_y), e_u(k_y)]$  を求める。

【0109】同様に、各  $k_y$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) において、 $MPD_2(k_x, k_y)$  の最小二乗法適用区間  $[s_d(k_y), e_d(k_y)]$  を求める。

【0110】【ステップ1205】各  $k_y$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) において、区間  $[s_u(k_y), e_u(k_y)]$  で  $MPU_2(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p_2(k_y)$ ,  $r_2(k_y) = q_2(k_y) k_y$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) を推定する。

【0111】同様に、各  $k_y$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) において、区間  $[s_d(k_y), e_d(k_y)]$  で  $MPD_2(k_x, k_y)$  に最小二乗法を適用し、数(2)の  $p_2(k_y)$ ,  $r_2(k_y) = q_2(k_y) k_y$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) を推定する。

【0112】【ステップ1206】ステップ1205により推定した  $p_2(k_y)$ ,  $q_2(k_y)$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) に

18

\*【0103】同様に、ブロック403の上半分のデータ  $S_3(k_x, k_y)$  ( $0 \leq k_y \leq 25$ ) と下半分のデータ  $S_4(k_x, k_y)$  ( $-1 \leq k_y \leq -25$ ) による中央低域の計測データと、ブロック404の下半分のデータ  $S_5(k_x, k_y)$  ( $-76 \leq k_y \leq -51$ ) から、ハーフスキャンイメージング法により、ブロック402の上半分の推定データ  $IU_2(k_x, k_y)$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) を計算する。

【0104】【ステップ1202】ブロック402の上半分のデータ  $S_2(k_x, k_y)$  ( $51 \leq k_y \leq 76$ ) と推定データ  $IU_2(k_x, k_y)$  との位相差をとる。

\*【0105】

$S_3(k_x, k_y)$  との位相差をとる。

【0106】

もとづき、各ブロックに対する上半分の計測データにブロック401の上半分

$$S_1(k_x, k_y) \quad 102 \leq k_y \leq 127 \quad p(k_y) = p_2(k_y - 51), \quad q(k_y) = q_2(k_y - 51)$$

ブロック402の上半分

$$S_2(k_x, k_y) \quad 51 \leq k_y \leq 76 \quad p(k_y) = p_2(k_y), \quad q(k_y) = q_2(k_y)$$

ブロック403の上半分

$$S_3(k_x, k_y) \quad 0 \leq k_y \leq 25 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 51), \quad q(k_y) = q_2(k_y + 51)$$

ブロック404の上半分

$$S_5(k_x, k_y) \quad -51 \leq k_y \leq -26 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 2 \times 51), \quad q(k_y) = q_2(k_y + 2 \times 51)$$

ブロック405の上半分

$$S_6(k_x, k_y) \quad -102 \leq k_y \leq -77 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 3 \times 51), \quad q(k_y) = q_2(k_y + 3 \times 51)$$

とすることによって、位相補正処理を行った後、これらのデータを集めることによって得られる計測空間全体のデータ  $SU(k_x, k_y)$  を得る。

【0113】同様に、ステップ1205により推定した  $p_2(k_y)$ ,  $q_2(k_y)$  ( $26 \leq k_y \leq 51$ ) にもとづき、各ブロックに対する下半分の計測データに

ブロック401の下半分

$$S_1(k_x, k_y) \quad 77 \leq k_y \leq 102 \quad p(k_y) = p_2(k_y - 51), \quad q(k_y) = q_2(k_y - 51)$$

ブロック402の下半分

50

19

$S_2(k_x, k_y) \quad 26 \leq k_y \leq 51 \quad p(k_y) = p_2(k_y), q(k_y) = q_2(k_y)$   
 ブロック403の下半分

$S_3(k_x, k_y) \quad -25 \leq k_y \leq 0 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 51), q(k_y) = q_2(k_y + 51)$   
 ブロック404の下半分

$S_5(k_x, k_y) \quad -76 \leq k_y \leq -51 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 2 \times 51), q(k_y) = q_2(k_y + 2 \times 51)$   
 ブロック405の下半分

$S_6(k_x, k_y) \quad -127 \leq k_y \leq -102 \quad p(k_y) = p_2(k_y + 3 \times 51), q(k_y) = q_2(k_y + 3 \times 51)$

とすることによって、位相補正処理を行った後、これらのデータを集めることによって得られる計測空間全体のデータSD( $k_x, k_y$ )を求める。

【0114】〔ステップ1207〕位相補正データSU( $k_x, k_y$ ), SD( $k_x, k_y$ )をフーリエ変換して画像再生する。

【0115】

【発明の効果】本発明は、画像再生に必要な全データを計測するまでの、前半もしくは後半だけで突発的に起こるスライス面内における平行移動性の動きを、特別なシーケンスを用いなくても、計測データ自身から動きを検出し、その検出した動きから計測データに動き補正することにより、S/Nを劣化させることなく平行移動性のモーションアーチファクトを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1における動き補正処理の処理フロー図。

【図2】本発明を実施するシステム構成の一例を示す図。

【図3】計測空間を低域中央と高域に分けた時の各領域を示す図。

【図4】6エコーの高速スピンエコー撮影における各エコーの計測空間の割当てを示した図。

【図5】計測空間の各ラインにおける位相差データの折り返しを説明する図。

20

\*【図6】本発明の実施例1における第1の低域中央の動き補正処理例の処理フロー図。

【図7】本発明の実施例1における第2の低域中央の動き補正処理例の処理フロー図。

【図8】本発明の実施例1における第3の低域中央の動き補正処理例の処理フロー図。

【図9】本発明の実施例1における第1の高域の動き補正処理例の処理フロー図。

【図10】本発明の実施例1における、計測空間の各ラインの位相差データに最小二乗法を適用するときの適用区間を決定する処理フロー図。

【図11】本発明の実施例1における第2の高域の動き補正処理例の処理フロー図。

【図12】本発明の実施例2における動き補正処理例の処理フロー図。

【図13】本発明の実施例1において動き補正処理を行う計測データを撮影するためのシーケンスの一例を示す図。

【図14】本発明の実施例1において動き補正処理を行う計測データの低域中央を撮影するためのシーケンスの一例を示す図。

【図15】本発明の実施例1において動き補正処理を行う計測データを撮影するためのシーケンスの一例を示す図。

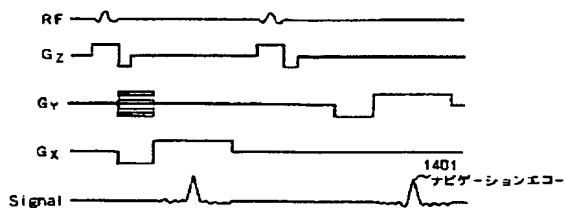
【図16】高速スピンエコー撮影法における、従来シーケンスと本発明シーケンスを示す図。

【符号の説明】

200…被検体、201…静磁場発生系、202…送信系、203…傾斜磁場発生系、204…受信系、205…処理装置、206…CRT表示装置、207…パルスシーケンスファイル、208…シーケンス制御部、304… $k_y$  軸、305… $k_x$  軸、501…折り返し点、1301…RFパルス、1302…z方向傾斜磁場、1303…y方向傾斜磁場、1304…x方向傾斜磁場、1305…Signal、1306…位相エンコードパルス、1307…計測信号、1401…ナビゲーションエコー。

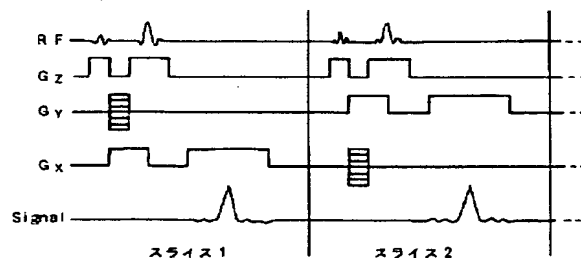
【図14】

図14

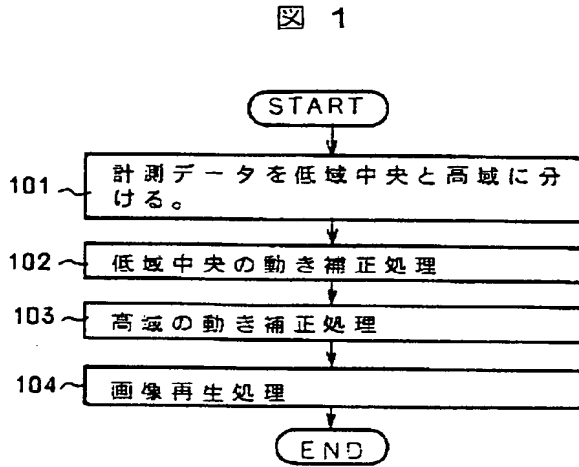


【図15】

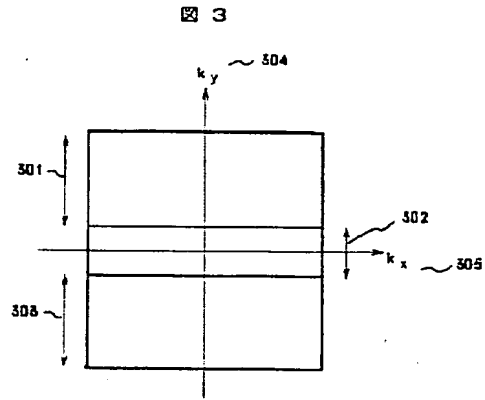
図15



【図1】



【図3】

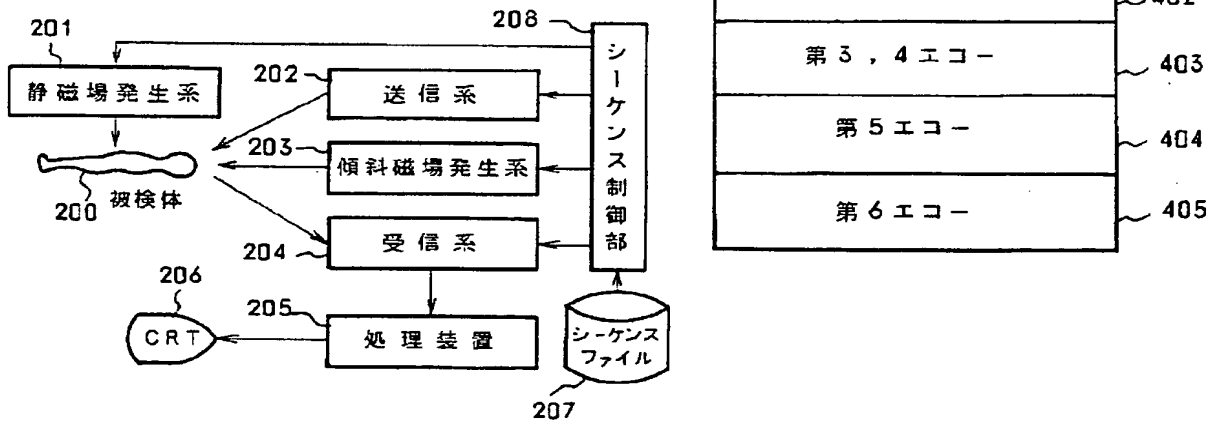


【図4】

図 4

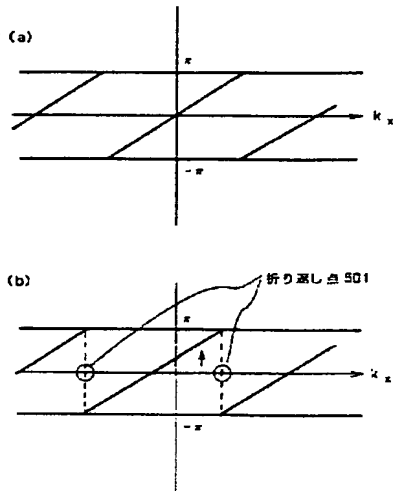
【図2】

図 2



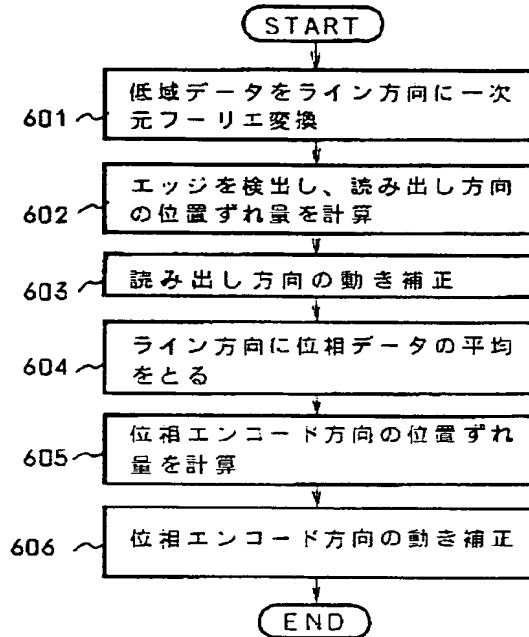
【図5】

図 5



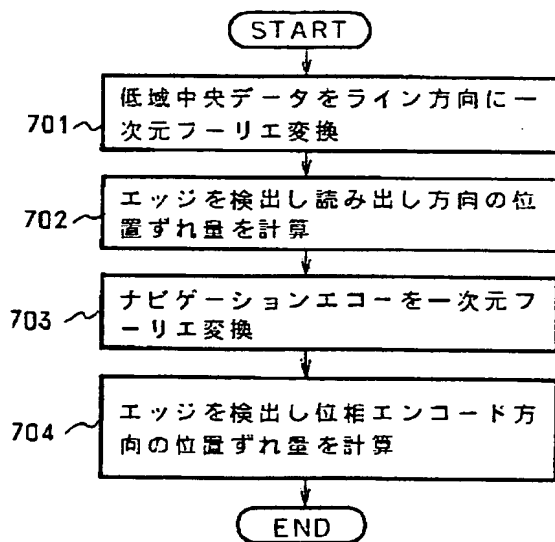
【図6】

図 6



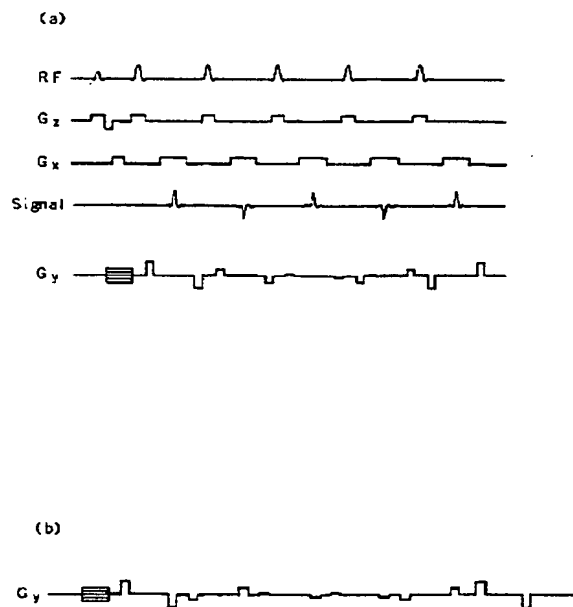
【図7】

図 7



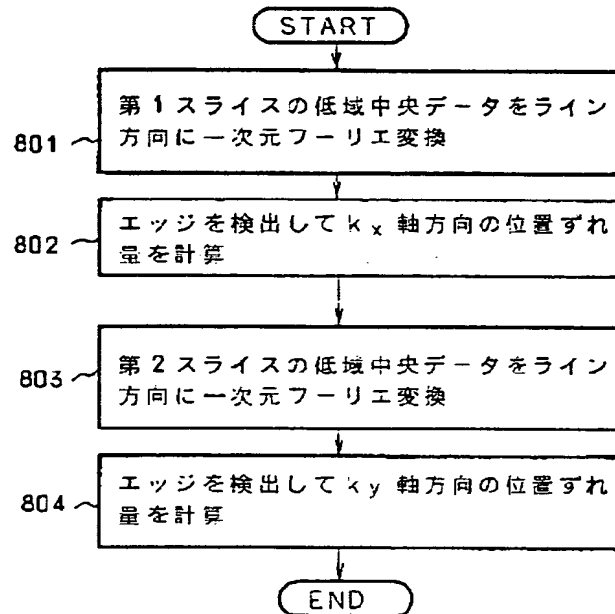
【図16】

図 16



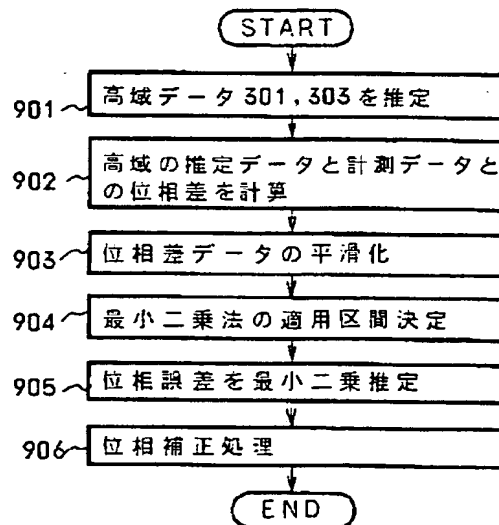
【図8】

図 8



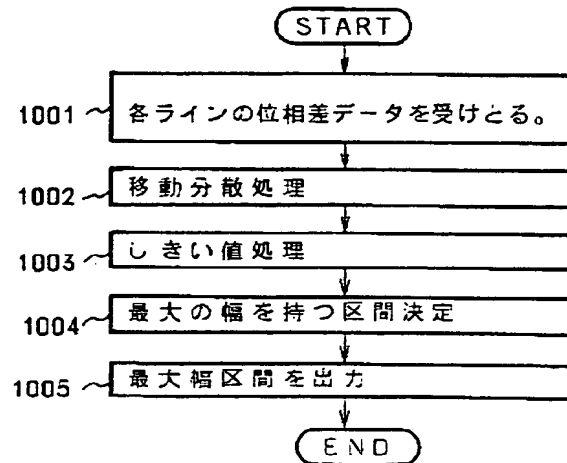
【図9】

図 9



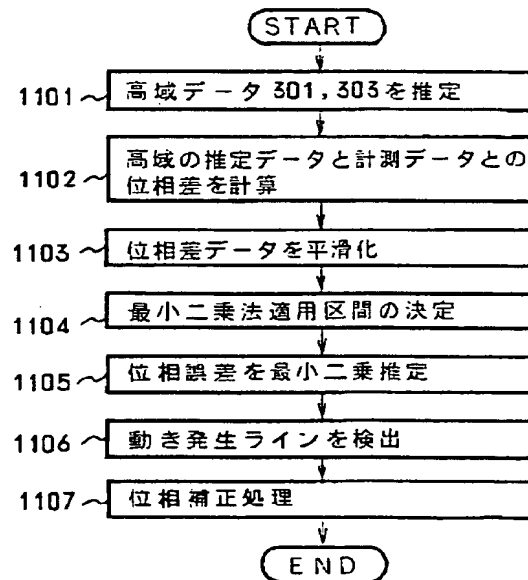
【図10】

図 10



【図11】

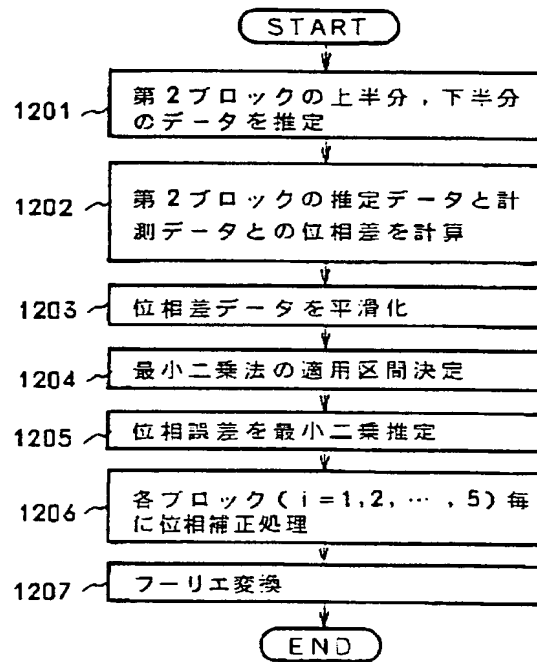
図 11





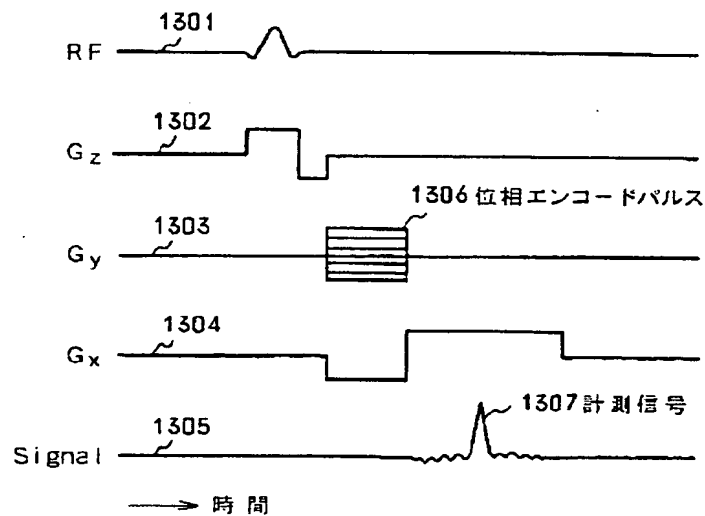
【図12】

図 12



【図13】

図 13



フロントページの続き

(72) 発明者 小泉 英明  
茨城県勝田市市毛882番地 株式会社日立  
製作所計測器事業部内